

# LES CAHIERS

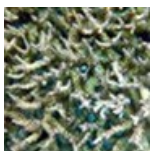
ESPACE, ENVIRONNEMENT, RISQUES  
ET RESILIENCE



*Récifs coralliens - Panglao, Bohol – Philippines - Lucie Porcherie*

N°2 | JUIN 2025





L'Académie Espace, Environnement, Risques et Résilience s'intéresse aux aléas, aux risques naturels et anthropiques. Notre objectif est de mieux comprendre la complexité des processus mis en jeu, de caractériser leur diversité et leurs interconnexions, de définir leurs liens sociétaux et environnementaux. Nous souhaitons ainsi contribuer au développement d'une recherche sur les notions de durabilité dans les sociétés, sur la compréhension de nos environnements et, plus généralement, de nos écosystèmes. Les projets fédérés et soutenus par l'Académie sont donc par nature transdisciplinaires car ils doivent répondre à des questions complexes sur des objets complexes dans leur forme et dans leur diversité. Ces approches transdisciplinaires sont également un outil nécessaire pour explorer des questions ouvertes sur des choix de société qui restent à définir ou à ajuster. C'est en promouvant la recherche collaborative que nous contribuerons à apporter un éclairage parfois nouveau, souvent complémentaire. Les universités jouent un rôle essentiel dans cet apport de connaissance car elles accueillent la recherche et permettent l'enrichissement de la pensée.

C'est le rôle des cahiers Espace, Environnement, Risques et Résilience de vous faire part des fruits de cette recherche en sélectionnant des contributions qui ont marqué cette année 2024-2025. Le deuxième numéro de ces cahiers Espace, Environnement, Risques et Résilience se fédère autour de l'ODD 14 (vie aquatique) des Nations Unies à l'occasion notamment de l'UNOC (Conférence des Nations Unies sur l'Océan), qui s'est tenue à Nice en juin 2025<sup>1</sup>.

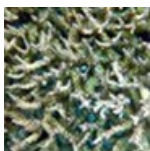
C'est donc l'espace marin qui constitue le fil conducteur de ce second numéro des cahiers. Évidemment non exhaustif, il vous propose une juxtaposition d'écrits de nature différente, regards croisés autour d'une urgence qui n'est plus à définir.

- *Lou Nils*, Lettre d'une poétesse aux chercheurs ;
- *Nawel Belkessa et Abir Khribich*, Regards de deux jeunes chercheuses sur la diplomatie scientifique et l'urgence climatique ;
- *Nikita Rose et al.*, Vers des produits de la mer plus sûrs en Méditerranée : l'apport d'une approche intégrée et transdisciplinaire ;
- *Eric Gilson et al.*, Revisiter la santé des coraux pour de nouveaux outils non invasifs de surveillance des récifs coraliens à l'aide de modèles d'analyse d'image basés sur l'Intelligence Artificielle ;
- *Lou Nils*, Poème à l'eau de mer.

*Juin 2025,  
Christophe Den Auwer, Responsable de l'Académie Espace, Environnement, Risques et Résilience*

---

<sup>1</sup> <https://unocnice2025.org>



## LETTRE D'UNE POÉTESSE AUX CHERCHEURS

*Commande de l'Académie d'Excellence N°3 « Espaces, Environnement, Risques et Résilience » de l'Université de Nice Côte d'Azur à Lou Nils, auteure de La Poèmerie à l'occasion du Séminaire inaugural qui a réuni une audience de chercheurs scientifiques spécialisés sur le thème de la mer et les océans à Nice.*

### Chers Chercheurs,

Vous cherchez.

C'est le flow de votre métier.

Dans le monde, dans les ondes : vous plongez, vous sondez.

Vous cherchez, vous étudiez, vous évoluez dans le sens au gré des avancées de vos recherches qui vous arrivent par vagues, et vous trouvez parfois.

Vous revenez de temps à autre à quai pour nous le dire.

Vous revenez nous le dire quand les conditions sont réunies, alors vous laissez des jalons pour proposer des ponts de connaissance et des passerelles d'action vers l'amélioration. Vous revenez nous le dire quand il est important de consolider des passerelles pour instruire ou approcher les autres vivants sur la planète, sous l'eau et dans les étoiles.

Où à défaut vous le dites au moins à ceux qui sont juste à côté de vous, vous les informez de ce que vous faites : sur ce qui vous a passionné ou enthousiasmé, de ce qui est arrivé à votre compréhension, de ce qui ne fonctionne pas, de ce sur quoi il est éclairant de se protéger, d'éviter, d'anticiper car vous travaillez sur des nouveautés et des consciences en construction.

Mot pour mot, je vous rapporte ici une phrase de plongeur : Aller lentement, c'est aller vite.

Depuis nos paliers respectifs et nos bulles de réflexions, ne trouvez-vous pas que cela fait sens de s'oxygéner un moment avec cette phrase et de prendre de la bouteille avec, avant de plonger à nouveau l'instant juste d'après dans nos cœurs de vie avec nos activités certainement mues à la ferveur de la recherche en multiprisme et des nouvelles voies à arpenter ?

Chers chercheurs,

Entre vous et moi, c'est une affaire de temps bleu.

Je suis chanteuse et poète : je chante et j'écris dans le monde des lignes à l'encre bleue sur différents formats que j'interprète. Pour se faire, je largue les amarres, séjourne, m'ancre, flotte à courte, moyenne ou longue durée selon la nature de la recherche et j'effectue des aller-retours fréquents dans ce que j'appelle le temps bleu pour aller ressasser, trouver et ramener des concepts jusqu'à les matérialiser.

Comme vous : « je suis faite de long silences et de longs trajets », comme l'écrit si bien Cécile Coulon dans un poème<sup>1</sup>.

Les plus beaux poèmes, les ondes musicales les plus inouïes, les inventions les plus audacieuses se nichent probablement dans le lit de la mer, dans le creux ou à la crête de ses vagues.

Au gré de ses oscillations et de ses flux.

Vous êtes des étudiants et des professeurs, toutes et chacun chercheur. Et ce colloque nous amène au bleu de l'apprentissage autant qu'à celui de la connaissance évolutive.

Poète, chercheurs, scientifiques, littéraires, artistes, artisans, humains : je fais partie de celles et ceux qui pensent que nous avons en commun bien plus de choses qu'on ne saurait les mettre en barrières depuis nos îlots de réflexions et nos pensées en archipels.

De celles et ceux qui pensent que ce que nous avons en commun, c'est une chance. A construire.

Je cite ici Daniele Finzi Pasca, créateur transversal et fondateur de la compagnie Finzi Pasca qui voyage dans le monde plusieurs fois par an avec des spectacles solo ou monumentaux. Il dit que nous les humains, nous sommes faits d'eau comme les autres êtres vivants : on est constitués d'eau et d'histoires : « Les poètes, les peintres, les musiciens s'occupent d'inventer et de se souvenir d'histoires. Les clowns apportent l'eau, les musiciens du vin, les peintres du soleil. Les poètes, des épices et des fleurs.<sup>2</sup> »

J'ajoute et j'associe à la lignée de sa phrase la communauté des chercheurs :

Les chercheurs apportent la boussole et l'amélioration par l'imprévu.

Lorsqu'on s'aventure à aller sédimenter nos idées sur la plage de nos pages blanches :

Dans ce temps bleu qui peut durer des minutes, des heures, parfois des mois, des années, des poignées de cheveux hirsutes : on part loin pour chercher et trouver des idées invisibles. On s'aventure en secouant nos regards hagards, nos stylos, nos claviers et nos dictaphones sur une grève faite de possible et d'impossible dont tout semble immense au début.

Dans nos temps bleus, chacune et chacun on s'immerge dans une bulle effervescente volumineuse pendant des boucles temporelles non-quantifiables.

Et quand on est de l'autre côté de la serrure

Tu sais

A la crête des mondes autres pour débayer et avancer la réflexion

Toi et moi

Ce qui nous rapproche sur nos plages pour ne citer que lui, c'est le ressassement : ce flux et ce reflux de la pensée qui est immense.

Se rapprocher de la mer est un ingénieux recours et une panacée puissante pour l'apprivoiser.

Dans les périodes de stagnation ça me rassure de considérer avec une simplicité désarmante que la mer ressasse inlassablement et recommence à l'infini. Ce spectacle élégant du quotidien je le prends comme une respiration sur les gros bouillons de mes brouillons. Approfondir, apprendre à tamiser mes idées dans des villes et des coins à deux pas de la mer et connecter les ressassements, c'est plus acceptable bien que souvent modeste dans le résultat : trois pas de recul, pour deux de gagnés. Je viens de te transmettre ici sur le papier une clé qui est mienne et qui me fais durer dans la façon de chercher : être au contact de la mer qui ressasse sur un rivage.

Et toi, qui le fréquentes également le ressassement dans tes recherches au quotidien : Qu'en penses-tu ? Comment le vis-tu ?

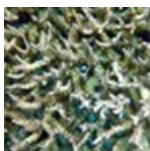
Loïc MELS

*Texte original écrit en carte blanche*

*Écrit et interprété par l'auteure à Nice le 27 septembre 2024*

<sup>1</sup> Extrait de page de garde du Recueil de poésie « *Noir volcan* » de Cécile Coulon, édition Le Castor Astral, 2020 ISBN 979-10-278-0244-9

<sup>2</sup> Extrait du livre « Daniele Finzi Pasca, Le Théâtre de la Caresse », de Facundo Ponce de León, édition FPH, 2013 ISBN: 978-9974-96-942-1



## **Regards croisés de jeunes chercheuses sur la diplomatie scientifique et l'urgence climatique à la COP climat**

Nawel Belkessa<sup>1</sup>, Abir Khribich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Côte d'Azur, CNRS, ICN, Nice, France

<sup>2</sup> Université Côte d'Azur, GREDEG, Nice, France & Université de Carthage, École Polytechnique de Tunisie, LEGI, Tunisie

Reçu le 13 février 2025, publié le 24 juin 2025

L'année 2024 a marqué un point de bascule dans la crise climatique mondiale. Après une année 2023 déjà exceptionnellement chaude, elle est devenue la première année où la température moyenne a dépassé de manière incontestable le seuil de +1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels – un seuil critique fixé par l'Accord de Paris (2015) pour limiter les risques et impacts du changement climatique. Cette élévation sans précédent s'est accompagnée d'une augmentation record des concentrations de gaz à effet de serre, d'une intensification des températures extrêmes de l'air et des océans, et d'une multiplication des événements climatiques dévastateurs : inondations destructrices, vagues de chaleur insoutenables et incendies ravageurs (Copernicus, 2025. IPCC, 2018). Ces phénomènes ne sont plus des avertissements, mais des signaux concrets et irréversibles de l'accélération du changement climatique induit par l'activité humaine (NASA Science, 2024).

Dans ce contexte, il devient impératif de renforcer le dialogue entre chercheurs, militants et décideurs pour répondre efficacement à cette crise grandissante. C'est dans cet esprit qu'a eu lieu la matinée "Enjeux climatiques & diplomatie scientifique", un événement organisé en marge des discussions de la COP29 par l'Académie 'Espace, Environnement, Risques et Résilience' et le Programme International de l'IdEx d'Université Côte d'Azur, réunissant experts, chercheurs et artistes engagés. À travers des interventions variées – de la glaciologue Heïdi Sevestre, à l'exposition photographique "Pôles" d'Olivier Anrigo, en passant par la performance artistique de la danseuse apnéiste Amal Alnabwany – cet événement a permis de croiser les regards sur les impacts du changement climatique et d'explorer les leviers d'action possibles. En reliant la science, l'art et la diplomatie scientifique, cette initiative illustre la nécessité d'une approche pluridisciplinaire et collective pour faire face aux défis climatiques croissants.

Participer à cet événement a été une expérience marquante et inspirante. L'intervention de la chercheuse Heïdi Sevestre a été particulièrement touchante : son engagement passionné pour la préservation des glaciers, véritables 'sentinelles du climat' (Sevestre, 2021), a mis en lumière l'urgence d'agir face aux bouleversements que nous constatons déjà. Voir une scientifique aussi impliquée dans la sensibilisation et l'action conforte l'idée que nous avons, en tant que jeunes chercheurs, un rôle à jouer bien au-delà de nos thèmes de recherche. Les clichés capturés par le photographe d'Olivier Anrigo, synonyme d'une immersion au cœur des paysages grandioses et fragiles du Svalbard, un archipel norvégien actuellement au centre des enjeux climatiques et géopolitiques, et la projection de la performance d'Amal Alnabwany avec son projet « Néréides » au cœur de la méditerranée, ont ajouté une dimension artistique et sensorielle au débat. Ces deux approches montrent à quel point la science et l'art peuvent se compléter pour éveiller les consciences. Bien que relevant de domaines distincts, ceux-ci peuvent se compléter et s'enrichir mutuellement pour sensibiliser aux enjeux climatiques. Là où la science apporte des données rigoureuses, des modèles et une recherche de compréhension approfondie des mécanismes du

changement climatique, l'art a la capacité unique de traduire ces connaissances en émotions, en récits visuels et sensoriels qui touchent un public plus large. La science et l'art nous questionnent sur des plans différents.

La table ronde qui a suivi ces interventions a permis de questionner la diplomatie scientifique, la priorisation des thématiques abordées, ainsi que la dynamique des COP et les risques géopolitiques qui influencent les négociations climatiques. Ces réflexions s'inscrivent dans une trajectoire de près de trois décennies, depuis la première COP en 1995, qui a marqué un tournant avec les premiers engagements en faveur de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Vingt-neuf ans plus tard, le monde fait face à des défis climatiques d'une ampleur sans précédent, et la COP29, qui s'est tenue en novembre 2024 en Azerbaïdjan, illustre à nouveau les fractures profondes et les incohérences du système actuel. Une approche stratégique, globale et concertée des négociations climatiques est nécessaire.

Cette table ronde s'est inscrite dans cette réflexion en explorant les décisions contraignantes, les limites du format actuel des COP et les perspectives de sa réforme, dans le but d'optimiser l'efficacité des négociations climatiques. Elle s'est faite l'écho des rouages et des failles du système actuel, mis en évidence lors de la COP29, et souligne la nécessité d'une approche plus structurée et ambitieuse pour relever les défis climatiques contemporains.

Parmi ces défis, la classification des pays demeure un enjeu central. Comment la Chine, première puissance industrielle mondiale et principal émetteur de gaz à effet de serre, peut-elle encore être considérée comme un pays en développement, lui permettant ainsi d'échapper à certaines obligations ? Cette situation met en lumière l'urgence d'une réforme de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), afin d'adapter les engagements aux réalités économiques et environnementales actuelles.

Au-delà de cette question structurelle et géopolitique, le rôle de la science dans les négociations climatiques reste une préoccupation majeure. La discussion a ainsi fait écho à des interrogations fondamentales : quelle place pour la voix des scientifiques face aux décisions politiques ? Comment renforcer la diplomatie scientifique pour que les recherches influencent concrètement les politiques climatiques ? Si la COP constitue un espace de négociation essentiel, les intérêts économiques y dominent, reléguant les préoccupations scientifiques et environnementales au second plan.

Les scientifiques établissent des priorités en s'appuyant sur la robustesse des données disponibles et qui convergent pour montrer l'urgence environnementale. Parmi les thématiques les plus critiques figurent les points de bascule climatique et les impacts irréversibles, tels que la fonte des calottes glaciaires, l'acidification des océans ou encore la perte massive de biodiversité. Pourtant, dans l'arène diplomatique, les sujets abordés sont souvent déterminés par les agendas politiques et économiques des gouvernements, qui privilégient leurs intérêts économiques et géopolitiques.

Il nous est apparu que les négociations ne se concentrent pas toujours sur les priorités écologiques les plus urgentes, mais plutôt sur des compromis entre États, chacun cherchant à préserver sa compétitivité et sa souveraineté. Par exemple, des décisions majeures, comme la réduction des subventions aux énergies fossiles ou l'accélération des engagements de décarbonation, peuvent être reléguées au second plan si elles sont perçues comme une menace économique pour certains pays.

Les discussions sont également façonnées par des enjeux géopolitiques complexes. Les pays industrialisés, historiquement responsables de la majorité des émissions de gaz à effet de serre, cherchent à préserver leur modèle économique tout en promouvant des solutions souvent inadaptées aux réalités des pays en développement. Ces derniers, bien que moins responsables du réchauffement climatique, en subissent aussi les conséquences. En effet, les 10 % les plus riches de la population mondiale sont à l'origine de près de 50 % des émissions mondiales, tandis que les 50 % les plus pauvres n'en produisent que 12 % (Chancel et al., 2022). Cette inégalité criante soulève une question de justice climatique : le financement des pays en développement par les nations riches est-il suffisant pour compenser les dommages qu'ils subissent ? Les économies avancées ne devraient-elles pas envisager une politique de décroissance ciblée pour réduire leur impact global (Parrique, 2022) ?

La question du genre est également au cœur des tensions climatiques. Selon le concept d'écoféminisme, développé par Françoise d'Eaubonne (1972), les femmes figurent parmi les populations les plus vulnérables face aux impacts du changement climatique (Derzelle, 2020). Pourtant, certains États, tels que l'Arabie saoudite, l'Iran, la Russie ou l'Égypte, s'opposent fermement à l'intégration de l'égalité des genres dans les politiques climatiques. Cette résistance pose un défi de gouvernance : la COP doit-elle imposer des mesures contraignantes aux pays réfractaires, compte tenu de l'urgence climatique et de la nécessité d'une transition juste et équitable ? Dans ce contexte, la COP ne devrait-elle pas aller au-delà des engagements volontaires, instaurer des restrictions et des règles contraignantes pour garantir une transition juste et durable ? À l'heure où le temps presse, les négociations climatiques doivent dépasser les inerties politiques et économiques pour se recentrer sur les actions nécessaires à la survie de nos écosystèmes et des populations les plus vulnérables (Bazin, 2019).

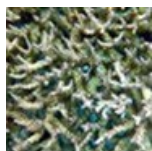
L'influence prépondérante des considérations économiques et géopolitiques dans les décisions climatiques freine souvent l'intégration des recommandations scientifiques, malgré l'urgence croissante et les alertes répétées des chercheurs. Face à cette inertie, il est crucial que la diplomatie scientifique joue un rôle plus central dans les négociations, afin que les choix politiques ne soient plus dictés par des intérêts de court terme, mais orientés vers une vision durable, appuyée sur des données scientifiques robustes.

Pour que la diplomatie scientifique puisse réellement peser dans ces discussions, elle doit s'appuyer sur un effort de sensibilisation et de transmission des connaissances. Dans cette dynamique, l'éducation constitue un levier fondamental : former, partager et incarner une recherche engagée, afin que notre génération puisse jouer un rôle décisif dans les décisions climatiques de demain.

En tant que chercheuses, nous avons pour rôle non seulement de générer de nouvelles connaissances, mais aussi de les diffuser, de les partager et de les rendre accessibles au plus grand nombre. Face aux enjeux climatiques et environnementaux, notre engagement s'étend à la sensibilisation, au dialogue avec la société et à la construction de ponts entre sciences, politique et action citoyenne. En alliant approches scientifiques et compréhension des dynamiques sociales et économiques, nous contribuons à éclairer les choix collectifs et à encourager des transformations positives durables.

## References

- Copernicus (2025), *Global Climate Highlights 2024*. <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>.
- IPCC Special Report (2018), *Special Report Global Warming of 1.5°C*
- NASA Science (2024), *Is it too late to prevent climate change??*, <https://science.nasa.gov/climate-change/faq/is-it-too-late-to-prevent-climate-change/>
- Sevestre, H. (2021), *Sentinelles du climat*, Flammarion.
- Chancel, L., Piketty, T., Saez, E. & Zucman, G. (2022), *Rapport sur les inégalités mondiales 2022*, Seuil.
- Parrique, T. (2022), *Ralentir ou périr*, Editions Seuil.
- Derzelle, I. (2020), « L'écoféminisme de Françoise d'Eaubonne », *La Vie des idées*.
- Bazin, D. (2019), *Justice environnementale : Vers de nouvelles injustices sociales ?* Editions L'Harmattan.



## **Vers des produits de la mer plus sûrs en Méditerranée : l'apport d'une approche intégrée et transdisciplinaire**

Nikita Rose<sup>a</sup>, Guillaume Barnouin<sup>a,b</sup>, James Kennedy<sup>a</sup>, Emma Calikanzaros<sup>a,d</sup>, Meriem Beldi<sup>a</sup>, Antoine Lafitte<sup>b</sup>, Nathalie Hilmi<sup>c</sup>, Luisa Mangialajo<sup>a</sup>, Marie-Yasmine Dechraoui Bottein<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Université Côte d'Azur, CNRS, ECOSEAS, France

<sup>b</sup> Plan Bleu - Centre d'activité régional du PNUE / PAM, France

<sup>c</sup> Section d'économie de l'environnement, Centre Scientifique de Monaco, Monaco

<sup>d</sup> Barcelona Institute for Global Health (ISGlobal), Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain

Reçu le 7 avril 2025, publié le 24 juin 2025

### **Introduction**

Assurer la sécurité sanitaire des produits de la mer en Méditerranée constitue un enjeu majeur nécessitant une approche interdisciplinaire intégrant les sciences de l'environnement, de la santé et l'écologie marine. La présence de contaminants chimiques et de biotoxines dans cette région représente une menace significative autant pour les écosystèmes marins que pour la santé humaine. Ces risques sont exacerbés par les effets du changement climatique, la pollution et les altérations des conditions océaniques, rendant leur gestion d'autant plus complexe. Afin de préserver la qualité des ressources marines et d'assurer la sécurité sanitaire des aliments, une surveillance rigoureuse des niveaux de contamination est essentielle, permettant d'anticiper et de limiter leurs impacts sur les pêches et les communautés côtières. En effet, au-delà des risques pour la santé humaine, la contamination des produits de la mer engendre d'importantes répercussions économiques (Berdalet et al., 2015 ; Zingone et al., 2021).

Dans ce contexte, l'approche intégrée « One Health » (ou « Une Seule Santé ») apparaît comme une nécessité pour appréhender ces enjeux à l'interface entre santé humaine, animale et environnementale. Une meilleure compréhension de ces dangers et de leurs implications multidimensionnelles permettra de développer des stratégies durables, protégeant à la fois les consommateurs et les écosystèmes marins dont dépendent de nombreuses populations.

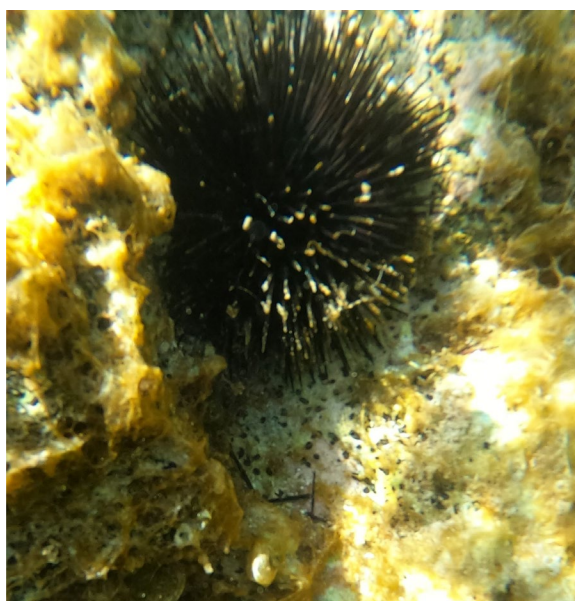
### **Les contaminants étudiés**

Parmi les divers polluants chimiques identifiés, cette étude a permis une évaluation des risques liés au méthylmercure (MeHg) et aux biotoxines, présents dans les eaux méditerranéennes et provenant de sources à la fois communes et distinctes.

Le MeHg est un contaminant persistant et toxique largement répandu en Méditerranée. Ce composé trouve son origine dans des sources naturelles et anthropiques. À l'échelle mondiale, l'activité volcanique et l'altération des roches contribuent naturellement à la libération de mercure dans l'environnement (Gworek 2020; Jeong et al. 2024). Toutefois, les activités humaines, notamment l'exploitation minière, la combustion des combustibles fossiles et le transport maritime, ont considérablement intensifié son introduction dans les écosystèmes aquatiques, y compris en Méditerranée (Jeong et al. 2025). Une fois libéré dans l'environnement, le mercure subit une transformation microbienne en MeHg, une forme hautement toxique qui s'accumule dans les réseaux trophiques marins. Bien que ce processus se produise à l'échelle mondiale, son efficacité en

Méditerranée est fortement influencée par des paramètres environnementaux tels que le pH et la température, qui déterminent la persistance et l'accumulation du MeHg dans les organismes aquatiques (Jeong et al. 2024). L'accumulation de MeHg varie selon les espèces de poissons en fonction de leur niveau trophique et de leur métabolisme, les prédateurs supérieurs tels que le thon et l'espadon présentant généralement les concentrations les plus élevées. Cependant, une variabilité significative existe même au sein d'une même espèce, sous l'influence de facteurs tels que le régime alimentaire, l'habitat et l'âge. Cette hétérogénéité complexifie l'évaluation des risques (Castro-González & Méndez-Armenta 2008), ce qui peut compromettre la sécurité des consommateurs, en particulier dans les régions où les produits de la mer sont largement consommés, comme cela peut être le cas en Méditerranée.

Les biotoxines sont issues des proliférations algales nuisibles (HABs), dont le développement est exacerbé par les activités anthropiques telles que le ruissellement agricole, les rejets d'eaux usées et les effluents industriels (Davidson et al., 2014). À l'échelle mondiale, le changement climatique crée des conditions environnementales favorables à ces algues toxiques en augmentant la température de la surface de la mer et en modifiant les dynamiques océaniques, ce qui intensifie la fréquence et l'ampleur des événements de HABs (Barnouin et al., soumis ; Griffith, Gobbler 2020). Certaines de ces espèces algales produisent des toxines aux effets délétères sur la faune et la santé humaine (**Figure 1**), provoquant des mortalités massives d'organismes marins et posant un risque sanitaire lorsque des produits de la mer contaminés sont consommés. L'augmentation des pressions anthropiques a renforcé la fréquence des événements associés aux proliférations algales toxiques en mer Méditerranée.



**Figure 1.** *Ostreopsis* spp. Recouvrant un oursin noir de la mer Méditerranée (G. Barnouin)

Dans cette région, la hausse des températures, l'eutrophisation induite par le développement côtier et la circulation océanique restreinte contribuent à la persistance et à l'intensification de ces événements. Par ailleurs, les activités aquacoles, notamment l'élevage de poissons et la culture des mollusques, peuvent agir comme des réservoirs de biotoxines, amplifiant ainsi les risques d'exposition lorsque des algues toxiques prolifèrent dans ces environnements contrôlés (Hallegraeff et al., 2021 ; Rolton et al., 2022). La surveillance et la gestion proactive des proliférations algales en Méditerranée sont donc essentielles pour limiter leurs impacts sur les écosystèmes marins et la santé publique.

### Bioaccumulation des contaminants

L'évaluation des risques liés aux contaminants chimiques et biotoxines en milieu marin nécessite une compréhension approfondie des multiples voies d'exposition. Certains contaminants ont des effets à long terme après une exposition chronique, même à très faibles doses, tandis que d'autres peuvent être toxiques, voire mortels, après une exposition aiguë unique.

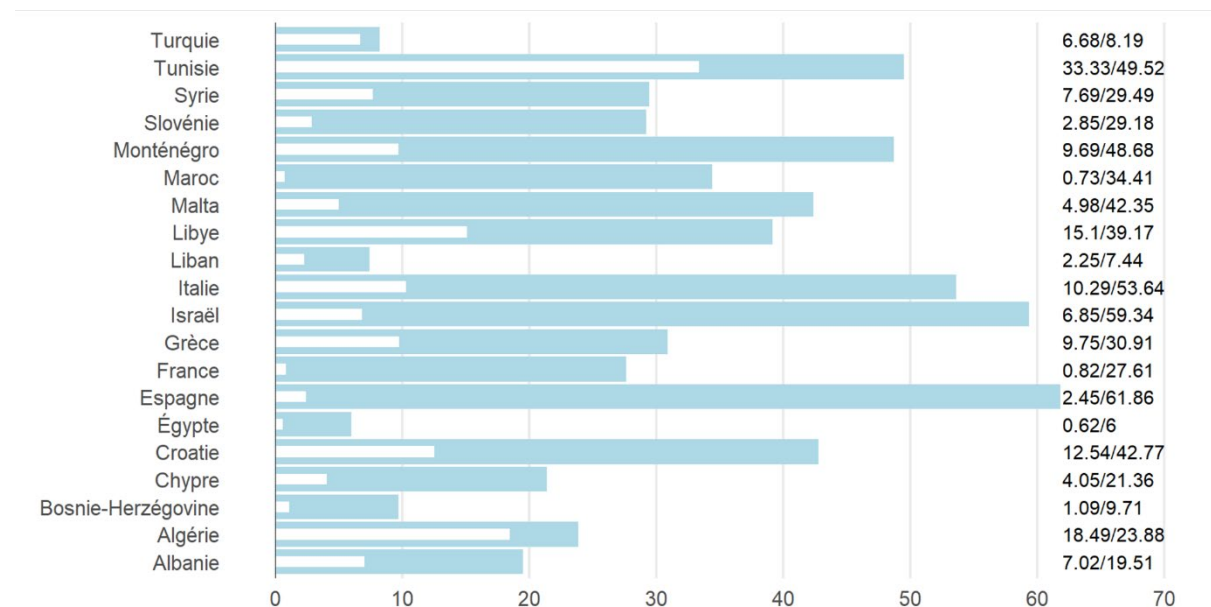
Les contaminants chimiques sont véhiculés par les courants marins et s'accumulent progressivement dans les réseaux trophiques, passant des micro-organismes aux prédateurs supérieurs tels que les poissons (Jeong et al., 2024). Les espèces situées au sommet de la chaîne alimentaire, fréquemment consommées par l'homme, notamment dans les communautés côtières où les produits de la mer constituent une ressource alimentaire essentielle, représentent une voie majeure d'exposition pour la population. Cette contamination locale peut ainsi s'étendre à l'échelle mondiale en raison du commerce des produits de la pêche. Le transport des toxines algales suit un schéma similaire à celui des contaminants chimiques, avec une bioaccumulation prédominante dans les organismes filtreurs, notamment les mollusques bivalves (Barnouin et al., soumis ; Berdalet et al., 2015) via la filtration du phytoplancton. Toutefois, une distinction majeure réside dans la dynamique temporelle de ces menaces

: certains contaminants, tels que le méthylmercure, persistent dans l'environnement et s'accumulent sur le long terme, tandis que les biotoxines sont généralement associées à des épisodes de contamination de courte durée. Cette différence est déterminante pour les stratégies de surveillance et l'évaluation des risques d'exposition, nécessitant des approches adaptées à chaque type de contaminant.

## Exposition humaine

L'exposition au MeHg est principalement liée à la consommation de produits de la mer et en raison du phénomène de bioamplification, plus une espèce occupe un niveau trophique élevé, plus sa concentration en MeHg est importante, augmentant ainsi le risque d'exposition des consommateurs. Cette contamination des produits de la mer constitue un enjeu majeur de santé publique, notamment en Méditerranée, où ces aliments représentent une source essentielle de protéines, comme l'a révélé notre étude (Kennedy et al., 2025). De manière similaire, les biotoxines marines peuvent être ingérées lors de la consommation de produits de la mer, mais elles présentent également d'autres voies d'exposition, notamment l'inhalation d'aérosols marins et le contact cutané, pouvant entraîner des irritations ou des troubles respiratoires (Barnouin et al., soumis ; Berdalet et al., 2015). Une compréhension précise de ces voies d'exposition est essentielle pour mettre en place des stratégies efficaces de gestion des risques et proposer des seuils sanitaires permettant de garantir la salubrité des aliments.

L'estimation précise de la consommation demeure un défi complexe, car elle varie en fonction de nombreux facteurs, tels que les comportements socioculturels, les conditions économiques et la localisation géographique. Pour mieux caractériser ces tendances, différentes approches méthodologiques ont été développées, notamment l'utilisation de *Global Dietary Database*, qui nous a permis de catégoriser la consommation de produits de la mer en Méditerranée (**Figure 2**). Les évaluations des expositions chroniques au MeHg (Kennedy et al., 2025) et aiguës aux biotoxines (Barnouin et al., soumis) conduites dans le cadre de cette étude permettent de mieux appréhender les risques liés à ces contaminants. Cette étude montre particulièrement l'importance des systèmes de surveillance à l'échelle Méditerranéenne.



**Figure 2.** Consommation moyenne quotidienne de fruits de mer par adultes (à l'exclusion des animaux aquatiques et des poissons d'eau douce/diadromes) dans les pays méditerranéens [g.adult⁻¹.jour⁻¹] : provenant des mers Méditerranée, Noire et de Marmara (barres colorées) vs Total (barres blanches). La consommation quotidienne de fruits de mer par adulte couvre les âges de 15 à 64 ans et est rapportée comme une moyenne pondérée par la population pour les groupes d'âge correspondants, avec la consommation et la taille de la population fournies respectivement par les bases de données GDD et IHME. Pour tenir compte du commerce des produits de la mer, les valeurs de consommation de chaque catégorie ont été estimées en combinant les informations sur la consommation totale de fruits de mer issues de la base de données GDD, la structure de consommation et la provenance issues de la base de données ARTIS, ainsi que la division de la production de la FAO d'après les statistiques régionales des captures pour chaque pays méditerranéen. (Modifiée à partir de Kennedy et al, 2024).

## Améliorer les systèmes de surveillance

À l'échelle mondiale, des réseaux spécialisés facilitent la surveillance et la coordination des réponses aux événements de contamination. Ainsi, le Réseau International des Autorités de Sécurité Alimentaire (INFOSAN), sous l'égide de la FAO et de l'OMS, centralise les informations sur les incidents de contamination et coordonne les réponses internationales. En Europe, le Système d'Alerte Rapide pour les Aliments (EU-RASFF) permet un échange rapide d'informations entre les États membres, garantissant ainsi une réaction rapide face aux risques sanitaires. De plus, la Convention de Minamata sur le mercure constitue un cadre international visant à encadrer les recherches sur le MeHg et à assurer une surveillance continue des niveaux de contamination et d'exposition (Gustin et al., 2016). Bien que ces initiatives soient essentielles pour la gestion des risques sanitaires, les évaluations elles-mêmes sont généralement réalisées par des organismes d'experts tels que le CODEX Alimentarius (FAO-OMS) au niveau international. Par ailleurs, la base de données FAO FishStat fournit des statistiques globales sur les pêcheries, y compris les fermetures liées à la contamination, contribuant ainsi à une meilleure caractérisation des risques. Cependant, des lacunes importantes persistent en matière de disponibilité et d'accessibilité des données. En Méditerranée, les efforts de surveillance des biotoxines et du méthylmercure (MeHg) demeurent fragmentaires. Notre étude permet ainsi de compiler les données de contamination des biotoxines (Barnouin et al., soumis) et du MeHg (Kennedy et al., 2024), permettant une analyse géographique des risques. Cependant certaines régions Méditerranéenne manquent de données et ces lacunes compromettent la précision des évaluations de l'exposition et, par conséquent, la pertinence des décisions réglementaires prises en réponse aux risques identifiés.

L'intégration de systèmes d'anticipation et d'alerte précoce représente une solution prometteuse pour atténuer les risques sanitaires liés aux contaminants marins, tout en favorisant un commerce équitable des pêcheries. En combinant l'analyse des tendances à long terme avec des données météorologiques et géophysiques, il est possible d'améliorer la compréhension des facteurs déclencheurs des proliférations algales nuisibles et des dynamiques de contamination (FAO-IOC-IAEA, 2023). Certaines de ces variables peuvent être suivies en temps réel grâce à l'imagerie satellitaire, qui permet de surveiller des paramètres tels que la température de surface de la mer et la couleur de l'océan, indicateurs clés des proliférations algales. En intégrant ces données environnementales aux relevés de terrain et aux modèles prédictifs, il devient possible d'anticiper l'apparition des contaminants et d'affiner les protocoles de sécurité sanitaire des produits de la mer (Berdalet et al., 2015 ; FAO-IOC-IAEA, 2023). L'optimisation des méthodes de surveillance et de modélisation pourrait ainsi renforcer la sécurité sanitaire des aliments en Méditerranée, en permettant une détection plus précoce des risques et une meilleure réactivité des autorités sanitaires. L'adoption de ces approches innovantes est essentielle pour garantir une gestion proactive des contaminants et assurer une protection efficace des consommateurs (Zingone et al., 2021). Une approche *One Health* intégrée permet de structurer des stratégies de surveillance, de renforcer les systèmes d'alerte précoce et d'améliorer les réponses aux contaminations, en assurant une coordination efficace à l'échelle locale, régionale et mondiale (OMS 2021). Toutefois, la mise en place de telles stratégies se heurte encore à des lacunes réglementaires significatives, notamment en Méditerranée où les différences dans les mécanismes d'application des réglementations entre les nations freinent les efforts de sécurité sanitaire.

## Création d'un réseau de collaboration transméditerranéen

Afin de répondre aux défis croissants posés par les proliférations algales nuisibles et la contamination des produits de la mer, un développement majeur a vu le jour avec la création du réseau Méditerranéen des experts en algues toxiques (MedHAB). Lancé en 2024, MedHAB regroupe des experts de 17 pays méditerranéens et vise à faciliter les échanges scientifiques, le partage de données et la mise en place de collaborations transnationales. Ce réseau joue un rôle clé dans le suivi des efflorescences algales nuisibles et l'évaluation de leurs impacts sur la sécurité alimentaire, l'économie locale et la durabilité des pêcheries. En renforçant la recherche interdisciplinaire et en favorisant la coopération internationale, MedHAB contribue activement à l'amélioration des cadres réglementaires et à l'élaboration de stratégies de réponse plus efficaces (Harmful Algae News No. 78, 2025). L'intégration de MedHAB dans une approche *One Health* plus large constitue une avancée majeure pour harmoniser les efforts de surveillance et de prévention, promouvoir des politiques plus cohérentes et garantir une meilleure

résilience face aux menaces émergentes. Une collaboration scientifique et politique renforcée, associée à des stratégies de gestion fondées sur des données robustes et une réglementation cohérente, est essentielle pour assurer une sécurité sanitaire durable des produits de la mer, tant en Méditerranée qu'à l'échelle mondiale.

## Conclusion

Face à un défi mondial croissant qui impacte directement la santé humaine et l'intégrité des écosystèmes marins, il est impératif d'adopter une approche interdisciplinaire alliant sciences de l'environnement, santé publique et écologie marine. L'augmentation des contaminants chimiques et des biotoxines associées aux proliférations algales toxiques, exacerbée par le changement climatique et la pollution, souligne l'urgence de mettre en place des stratégies de surveillance et d'atténuation renforcées à l'échelle internationale. Ces stratégies doivent inclure l'expansion des efforts de suivi, l'intégration de technologies avancées comme l'imagerie satellitaire et l'amélioration des cadres réglementaires existants. Une approche véritablement interdisciplinaire doit également considérer les besoins des parties prenantes et les spécificités socio-économiques des communautés côtières affectées afin de garantir des solutions adaptées et efficaces.

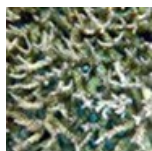
## Remerciements

Cet article s'inscrit dans le cadre de projets financés par le Programme d'Investissements d'Avenir (UCAJEDI n° ANR-15-IDEX-01) via l'Académie d'Excellence 3 « Espace, Environnement, Risques et Résilience » de l'Université Côte d'Azur, le Laboratoire International Associé (LIA ROPSE) en partenariat avec le Centre Scientifique de Monaco et le Programme ULYSSEUS. Il s'inscrit également dans le projet coordonné D52044 de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), à travers l'accord de recherche n° 26618.

## References

- Barnouin G., Hourany R., Record N., Bajc Z., Kennedy J., Lafitte A., Dechraoui Bottein M.Y. (Submitted). Marine biotoxins in Mediterranean seafood: Environmental occurrence and food safety concerns.
- Basu, N., Bastiansz, A., Dórea, J.G. et al. Our evolved understanding of the human health risks of mercury. *Ambio* 52, 877–896 (2023).
- Berdalet E, Fleming LE, Gowen R, et al. Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 2016;96(1):61-91.
- Castro-González, M. I., & Méndez-Armenta, M. (2008). Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26(3), 263–271.
- CENR. 2000. National Assessment of Harmful Algal Blooms in US Waters. National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources, Washington, DC.
- Davidson, K., Gowen, R. J., Harrison, P. J., Fleming, L. E., Hoagland, P., & Moschonas, G. (2014). Anthropogenic nutrients and harmful algae in coastal waters. *Journal of Environmental Management*, 146, 206–216.
- FAO, IOC & IAEA. 2023. Joint FAO-IOC-IAEA technical guidance for the implementation of early warning systems for harmful algal blooms. Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 690. Rome, FAO.
- Griffith, A. W., & Gobler, C. J. (2020). Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems. *Environmental Science & Technology*, 54(20), 11420–11436.
- Gworek, B., Dmuchowski, W., Baczewska-Dąbrowska, A. H., Brągoszewska, P., Bemowska-Kalabun, O., & Wrzosek-Jakubowska, J. (2020). Mercury in the terrestrial environment: A review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 128.
- Gustin, M. S., Evers, D. C., Bank, M. S., Hammerschmidt, C. R., Pierce, A., Basu, N., Blum, J. D., Bustamante, P., Chen, C. Y., Driscoll, C. T., Horvat, M., Jaffe, D., Pacyna, J. M., Pirrone, N., & Selin, N. E. (2016). Importance of integration and implementation of emerging and future mercury research into the Minamata Convention. *Environmental Science & Technology*, 50(12), 6261–6266.
- Hallegraef, G.M., Enevoldsen, H., Zingone, A., 2021. Global HAB Status Report. A Scientific Summary for Policy Makers. Harmful Algae, Global Harmful Algal Bloom Status Reporting.
- IOC-UNESCO, 2025. Harmful Algae News No. 78 12.
- Jeong, H., Ali, W., Zinck, P., Souissi, S., & Lee, J. S. (2024). Toxicity of methylmercury in aquatic organisms and interaction with environmental factors and coexisting pollutants: A review. *Science of The Total Environment*, 943, 173574.
- Kennedy, J., Calikanzaros E., Landrigan P., Badot P., Cinar M., Safa A., Schomaker R., Lloret J., Raps H., Racault M., Hilmi N., Dechraoui Bottein M.Y. (2025). Methylmercury contamination in Mediterranean seafood: Exposure assessment and cost of illness implications.

- Rolton A, Rhodes L, Hutson KS, Biessy L, Bui T, MacKenzie L, Symonds JE, Smith KF. Effects of Harmful Algal Blooms on Fish and Shellfish Species: A Case Study of New Zealand in a Changing Environment. *Toxins* (Basel). 2022 May 14;14(5):341.
- World Health Organization. (2021). One Health Joint Action Plan 2022–2026: For a healthier, safer, and fairer world. World Health Organization.
- Zingone, A., Escalera, L., Aligizaki, K., Fernández-Tejedor, M., Ismael, A., Montresor, M., Mozetič, P., Taş, S., & Totti, C. (2021). Toxic marine microalgae and noxious blooms in the Mediterranean Sea: A contribution to the Global HAB Status Report. *Harmful Algae*, 102, 101843.



## **Projet CORA(i)L : revisiter la santé des coraux pour de nouveaux outils non invasifs de surveillance des récifs coraliens à l'aide de modèles d'analyse d'image basés sur l'Intelligence Artificielle**

Megan Clampitt<sup>1</sup>, Marco Milanesio<sup>2</sup>, Rila Hilma<sup>1</sup>, Ryan McMinds<sup>1</sup>, Florentin Remot<sup>1</sup>, Paulus Boli<sup>3</sup>, Virly Yuriken<sup>4</sup>, Ayub Markus<sup>4</sup>, Eric Röttinger<sup>1</sup> and Eric Gilson<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University Côte d'Azur, CNRS, INSERM - IRCAN, Nice, France

<sup>2</sup> University Côte d'Azur, MSI, Nice, France

<sup>3</sup> Universitas Papua. FPIK, Manokwari, Indonesia

<sup>4</sup> Misool Foundation, Raja Ampat, Indonesia

Reçu le 2 février 2025, publié le 24 juin 2025

### **Résumé**

Les récifs coralliens se dégradent à une vitesse vertigineuse, il est donc essentiel de développer des systèmes de surveillance rapides et efficaces pour évaluer leur état de santé. La santé des coraux, comme la santé humaine, est complexe et multifactorielle, ce qui rend difficile, voire impossible, de la décrire à partir d'une seule variable. Il est donc nécessaire de prendre en compte d'autres facteurs que la présence/absence de maladie pour définir la santé des coraux. L'objectif de notre projet de recherche est de revisiter nos concepts sur l'état de santé des coraux par une approche intégrative associée à des attributs visuels pouvant être facilement détectés par des algorithmes basés sur des outils de l'intelligence artificielle. Au-delà de l'état de santé d'une colonie donnée, nous étudions si ces attributs analysés au niveau d'un ensemble de colonies coralliennes peuvent être utilisés pour définir l'état de santé « global » de leur récif corallien d'origine.

Pour cela, nous utilisons comme jeux de données des photos de colonies de coraux prises a) lors de l'expédition Tara-Pacific parcourant 32 îles de l'océan Pacifique mais aussi b) des photographies prises dans des récifs contrastés (intactes, endommagés, restaurés et pollués) d'Indonésie autour de l'île de Misool (Raja Ampat, Papua Barat Daya) et Manokwari (Baie de Doreri, Manokwari, Papua Barat). Les résultats de cette étude devraient donner lieu à de nouveaux outils de surveillance efficaces, simples et peu coûteux au bénéfice global de la protection des récifs mais aussi de l'économie et du bien-être des communautés locales et d'un tourisme de qualité.

### **Introduction**

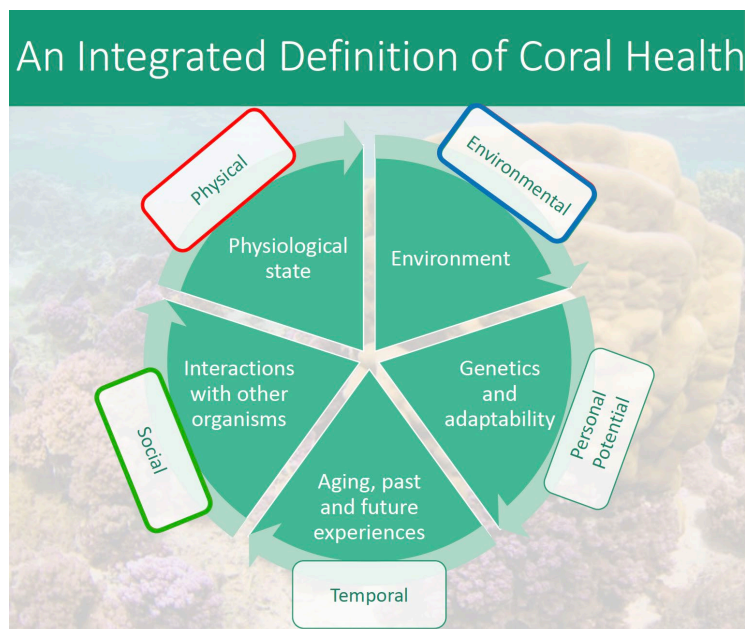
Les coraux sont essentiels à la vie des récifs car ils fournissent un abri et servent de nurserie et de lieu d'alimentation à des milliers d'espèces marines (Manderson et al., 2017). Les récifs coralliens jouent également un rôle essentiel dans la survie humaine en fournissant de nombreux biens et services écologiques tels que la protection côtière, les composés médicinaux, les réserves alimentaires, les moyens de subsistance du tourisme et des loisirs, ainsi qu'en fournissant une valeur esthétique, spirituelle et culturelle (Moberg & Folke, 1999).

Malgré leur importance, environ 14 % des récifs coralliens du monde ont disparu depuis 2005 (GCRM, 2020), et certaines prévisions indiquent que tous les récifs pourraient disparaître d'ici la fin du siècle (Manderson et al., 2017). Le changement climatique anthropique associé à la surpêche et à la pollution

sont quelques-unes des principales menaces qui détruisent ces écosystèmes (Hughes et al., 2017). Selon certaines prévisions, même si le réchauffement climatique reste inférieur à 2 °C, tous les récifs coralliens continueront de régresser par rapport à leur état actuel, ce qui entraînera des conséquences destructrices pour les services qu'ils fournissent (Bindhoff et al., 2019).

La surveillance des récifs coralliens est essentielle non seulement pour évaluer l'état de ces écosystèmes, mais aussi pour comprendre l'impact des changements environnementaux, évaluer leur résilience et mieux éclairer les décisions de gestion (Flower et al., 2017). Cependant, le suivi classique de la santé des récifs coralliens (couverture corallienne, indices de biodiversité, échantillonnage des coraux pour analyse physiologique et moléculaire...) entraîne des dépenses substantielles en termes de temps et d'argent. À titre d'exemple concret, González-Rivero et al. (2020) ont estimé que l'analyse par un expert d'une seule image de corail coûte environ 5\$ AUD, ce qui entraînerait des coûts d'analyse élevés pour de grands ensembles de données. Il est donc essentiel d'adopter des approches scientifiques innovantes pour assurer un suivi facile et peu coûteux de la santé des récifs coralliens afin de faire face aux défis de la préservation des coraux face aux changements globaux.

La santé des coraux, tout comme la santé humaine, est complexe et multifactorielle, ce qui la rend difficile, voire impossible, à décrire sur la base d'une seule variable. Actuellement, les mesures de la santé des coraux restent incomplètes et se concentrent sur la définition négative de la santé, c'est-à-dire l'absence de pathologie (Breslow, 1972) (López-Otin & Kroemer, 2020). En pratique, cela signifie que les coraux malades ou blanchis sont souvent définis uniquement sur ces critères comme étant en mauvaise santé, tandis que les coraux ne présentant aucun signe de blanchissement ou de maladie sont considérés comme sains. Cependant, la santé a été définie plus globalement par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme « le bien-être physique, mental et social, et pas seulement l'absence de maladie » (Constitution de l'Organisation mondiale de la santé, 1948). Ainsi, une approche intégrative qui prend en compte d'autres facteurs que la présence/absence de pathologie est nécessaire pour définir la santé des coraux (Figure 1).

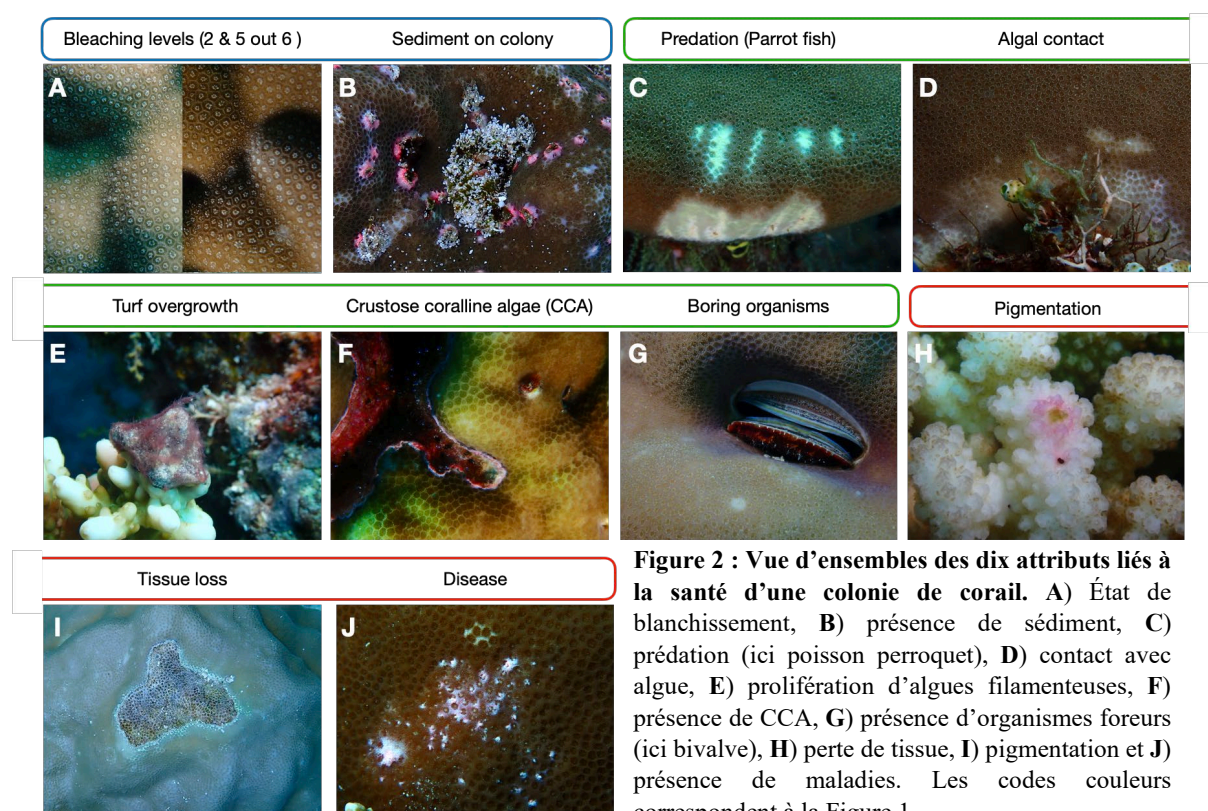


**Figure 1 : Ensemble d'éléments pouvant influencer la santé d'une colonie de corail.** Ces éléments incluent le fond (épi-)génétique (personnel potentiel), les aspects temporels (p.ex., l'âge de la colonie, événements historiques) les interactions avec d'autres organismes du récif (social), l'effet de l'environnement (ex. changement climatique) ainsi que l'état physiologique (ex. réaction immunitaire). Les cadres vert (Social), rouge (Physical) et bleu (Environnement) indiquent des aspects reconnaissables sur des colonies de coraux à partir de simple photographies (cf. Figure 2).

## Revisiter la santé des coraux comme fondement du projet CORAL(i)L

Nous avons émis l'hypothèse qu'une combinaison d'attributs de colonies de coraux qui peuvent être facilement extraits de photographies de colonies, peut servir à évaluer l'état de santé d'une colonie donnée (Figure 2). En faisant écho au concept de fragilité utilisé en gérosceience (Fried et al., 2021), nous souhaitons développer des outils simples à utiliser pour évaluer les états de réserve physiologique des coraux dont la diminution entraînerait une vulnérabilité accrue aux maladies et aux facteurs de stress

même en l'absence de blanchissement ou de maladie visible au moment de l'inspection de la colonie. Nous avons donc défini les dix attributs visibles suivants liés à la santé des coraux comme suffisant pour donner une vision intégrée de l'état de santé d'une colonie.



**Figure 2 : Vue d'ensembles des dix attributs liés à la santé d'une colonie de corail.** A) État de blanchissement, B) présence de sédiment, C) prédation (ici poisson perroquet), D) contact avec algue, E) prolifération d'algues filamenteuses, F) présence de CCA, G) présence d'organismes foreurs (ici bivalve), H) perte de tissu, I) pigmentation et J) présence de maladies. Les codes couleurs correspondent à la Figure 1.

**Blanchissement** (Figure 2A) : Le blanchissement des coraux est une réponse au stress qui peut résulter d'une multitude de facteurs, mais qui est le plus souvent attribuée à l'augmentation de la température de l'eau (Hoegh-Guldberg, 1999). Le blanchissement peut être défini comme la perte de couleur en réponse à l'élimination (totale ou partielle) de la population de dinoflagellés photosymbiotiques (zooxanthelles) ou à la dégradation du pigment photosynthétique de l'algue (Douglas, 2003). Les zooxanthelles favorisent la calcification, régulent le flux de nutriments élémentaires et fournissent du carbone aux coraux (Glynn, 1996). Les coraux blanchis peuvent perdre entre 60 et 90 % de leurs zooxanthelles, ce qui affecte considérablement leur condition physique. Il a également été démontré que le blanchissement entraîne une réduction de la fécondité et de la croissance, une inhibition de la régénération due aux blessures, une réduction de la vitalité, une perte de tissus et la mort (Glynn, 1996) (Ward, Harrison, Hoegh-Guldberg, 2000).

**Contact avec le sédiment** (Figure 2B) : La sédimentation, qu'elle soit due à des processus naturels ou à des activités humaines telles que le dragage, peut être préjudiciable aux colonies de coraux ; les particules peuvent rester en suspension dans la colonne d'eau, entraînant une réduction des niveaux de lumière ou s'accumuler à la surface de la colonie et blesser et/ou étouffer les polypes (Rogers, 1990). Cela conduit ainsi à une réduction du recrutement, de la croissance et de l'efficacité photosynthétique, ainsi qu'à l'induction de changements morphologiques et à l'augmentation de la respiration et de la mortalité des colonies (Rogers, 1990).

**Prédation** (Figure 2C) : La prédation/consommation de corail vivant affecte directement les coraux via des lésions tissulaires, ayant comme effet une réduction des taux de croissance et une diminution du potentiel reproducteur. De plus, la prédation facilite indirectement la colonisation par les algues et autres compétiteurs, en diminuant les réponses immunitaires, la dispersion des symbiontes et en augmentant la transmission de maladies (Rotjan & Lewis 2008). La prédation affecte directement le microbiome corallien, rendant les colonies plus vulnérables aux facteurs de stress (Ezzat et al., 2020).

La compétition entre les coraux et les algues est une caractéristique fondamentale qui aide à déterminer l'état des récifs coralliens, les deux organismes sessiles étant en compétition pour les ressources limitées d'espace et de lumière (McCook, Jompa et Diaz-Pulido, 2001). Le résultat de cette compétition peut avoir des conséquences importantes sur la survie et la croissance à long terme des colonies de coraux. Les interactions entre les coraux et les macroalgues et/ou les algues filamenteuses sont généralement considérées comme ayant des effets négatifs tandis que les effets des algues coralligènes (CCA) sont généralement considérés comme positifs (Cetz-Navarro et al., 2013). Ainsi, nous avons distingué les trois types de contact avec les algues suivants dans nos attributs visuels.

**Macroalgues (Figure 2D) :** L'augmentation des macroalgues est souvent associée à une diminution de la santé des récifs, les récifs dominés par les coraux se transformant en récifs dominés par les macroalgues en raison d'influences anthropiques telles que la surpêche (en particulier des espèces herbivores) et l'eutrophisation (McCook, 1999). Le contact avec les macroalgues augmente non seulement la mortalité des tissus, mais réduit également la croissance et la fécondité des coraux (Lirman, 2001). De plus, le contact avec certains types de macroalgues pourrait entraîner la transmission de maladies et l'augmentation des macroalgues au cours des 30 dernières années pourrait expliquer la récente augmentation des maladies des coraux (Nugues et al., 2004).

**Algues filamenteuses (Figure 2E) :** De même, il a été démontré que le contact avec les algues filamenteuses entraîne une perturbation des tissus, un blanchissement, une diminution de la fécondité, des performances photosynthétiques et des taux de croissance, ainsi qu'une augmentation de la mortalité des tissus (Cetz-Navarro et al. 2013). L'élimination des algues filamenteuses en contact avec les coraux peut réduire le stress (Cetz-Navarro et al., 2013). De plus, il a été démontré que le contact corail-gazon modifie le microbiome corallien avec une augmentation des bactéries associées aux maladies au point de contact (Pratte et al., 2017).

**Algues coralligènes (CCA - Crustose coralline algae ; Figure 2F) :** Les coraux entourés de CCA ont montré moins de stress (épaisseur accrue des tissus, densité de chlorophylle et de zooxanthelles et indice mitotique inférieur) que les colonies entourées d'algues filamenteuses (Cetz-Navarro et al., 2013) et le contact avec le CCA ne semble pas affecter négativement ou perturber la colonie (Barrot et al., 2009).

**Organismes foreurs (Figure 2G) :** Les organismes foreurs sont des invertébrés qui vivent sur ou dans le squelette du corail et sont visibles à la surface de la colonie, et peuvent avoir un impact sur la physiologie de la colonie. Par exemple, il a été démontré que les bivalves du genre *Lithophaga* affaiblissent la résistance du squelette des coraux, affectant en particulier le genre *Porites* qui possède un squelette très poreux et de faible densité (Risk & Scott, 1988). Il a également été constaté que les vers polychètes, un autre organisme foreur, peuvent étouffer les coraux et entraîner leur mortalité (Smith & Harriot, 1998).

**Pigmentation (Figure 2H) :** La réponse pigmentaire est associée aux tissus morts, mourants ou en régénération et s'est avérée être une réponse immunitaire activée par le corail en réponse au stress (Palmer, Mydlarz et Willis, 2008). Les protéines fluorescentes, responsables des couleurs vives observées chez les coraux, sont responsables de ce phénomène et agissent comme des antioxydants, renforçant davantage la réponse pigmentaire en jouant un rôle dans le stress des coraux et la réponse immunitaire (Palmer, Chintan et Mydlarz, 2009).

**Tissus morts et maladies et tissus morts (Figure I, J) :** Les maladies et les tissus morts sont identifiées macroscopiquement par la couleur des tissus, l'exposition du squelette et l'étendue de la perte de tissus (Ainsworth et al., 2007).

## Développement de machine d'IA pour l'extraction automatique des attributs de santé à partir d'images de coraux

Puisqu'une définition intégrée de la santé des coraux fait encore défaut empêchant ainsi des approches simples de surveillance des récifs, notre objectif est de développer des machines d'intelligence artificielle (IA) pour détecter les attributs liés à la santé que nous avons déterminés selon notre analyse intégrée de la santé des coraux (voir ci-dessus).

Tout d'abord, nous avons analysé les attributs visuels liés à la santé dans plus de 1000 colonies échantillonnées à travers le Pacifique lors de l'expédition Tara-Pacific (2016-2018) (Planes et al, 2019) pour laquelle nous disposons d'une vaste collection de données moléculaires et -omiques ainsi que les annotations des attributs de santé extraits des photos des colonies analysées (Lombard et al, 2023). Dans deux genres différents (*Pocillopora* et *Millepora*), les attributs peuvent expliquer des signatures transcriptionnelles spécifiques liées à la santé et aux maladies des coraux (immunité, matrice extracellulaire, transduction du signal...), montrant qu'ils peuvent servir de marqueurs de substitution de la santé des colonies de coraux (F. Remot et al, en préparation). En analysant la répartition des attributs dans trois genres (*Pocillopora*, *Porites* et *Millepora*) pour les îles visitées lors des expéditions Tara Pacific, nous avons trouvé une association avec l'île d'origine, nous permettant de regrouper les îles en fonction de la répartition des attributs (F. Remot et al, en préparation). Ces résultats amènent la preuve de principe que l'analyse des attributs liés à la santé des coraux peut être utilisée pour caractériser les sites récifaux.

Afin d'inclure une variété d'états de récifs coralliens à notre étude, nous avons étendu ces analyses à des sites en Indonésie dont l'état de santé est connu (intacte, endommagé, pollué, en restauration) en collaboration avec l'Université de Papouasie (UNIPA) et en partenariat avec la Fondation Misool. A cette fin, nous avons conçu un protocole rigoureux d'acquisition de photos et sommes en train de constituer un large corpus de photos de coraux (13000+) combinant celles prises lors de l'expédition Tara-Pacific et celles prises en Indonésie. Pour l'ensemble de ces photos nous avons également les informations sur la présence / absence des attributs de santé décrits ci-dessous et qui sont la base pour le développement des machines d'IA.

En prenant en compte nos données actuelles, la définition multifactorielle de la santé et nos premières analyses de la pertinence des attributs liés à la santé extraits des images de coraux pour caractériser l'état des sites récifaux, nous sommes dans une position unique non seulement pour obtenir de nouvelles connaissances fondamentales sur la santé des coraux et des récifs coralliens, mais aussi pour offrir de nouvelles opportunités pour des outils de surveillance rapide, économique et efficace des coraux/récifs coralliens.

Par conséquent, notre objectif est désormais : 1) de valider ces attributs liés à la santé pour évaluer l'état de santé des récifs coralliens en étendant leur analyse à un spectre encore plus large de récifs (y compris les sites à forte pression touristique), 2) d'utiliser ces résultats pour définir un indice de santé des coraux qui peut être utilisé pour suivre et comparer l'état de santé des coraux des sites récifaux, 3) de finaliser l'obtention de machines d'IA performantes pour analyser automatiquement et rapidement un grand ensemble de photos et calculer l'index de santé, 4) d'étudier la faisabilité de la mise en œuvre d'actions de science citoyenne utilisant ces machines d'IA pour les études de récifs coralliens de nouvelle génération et pour promouvoir le « tourisme régénératif ».

## Discussion

Ce projet interdisciplinaire développé avec le soutien de l'Académie 3 devrait fournir de nouveaux outils pour les programmes de conservation et de restauration des récifs impliquant des partenaires universitaires, des organismes non-gouvernementaux et des communautés locales.

Le développement de modèles d'IA pour déterminer les attributs liés à la santé pertinents pour caractériser la santé d'un récif corallien donné entraînera une diminution des coûts et du temps et un outil accessible pour un grand nombre d'acteurs impliqués dans la conservation et la surveillance des récifs. Ces modèles fourniront à l'utilisateur des informations visuelles sur la colonie qui devraient autrement être surveillées de manière coûteuse en temps et en argent. Ils permettent non seulement de gagner du temps lors de la collecte de données en prenant de simples photographies au lieu d'une inspection individuelle de chaque colonie, mais également de gagner du temps après la collecte de données grâce à l'analyse par machine au lieu d'une analyse humaine. L'ensemble de ces données permettra de réduire les coûts en minimisant le temps passé sur le terrain et les coûts associés. Ainsi, CORA(i)L devrait pouvoir proposer un outil qui capitalise sur l'efficacité de la surveillance photographique sans l'engagement coûteux et chronophage d'une annotation manuelle.

Notre exploitation de l'ensemble des attributs visuels liés à la santé à partir de photographies de colonies conduira au développement d'un modèle intégratif pour déterminer l'état de santé avec des mesures spécifiques pour les évaluations ou indice de santé des coraux. Cette manière de revisiter la santé des coraux conduira à de nouvelles questions de recherche. Par exemple, comment l'interaction entre les organismes (corail, poisson, éponge, mollusque...) détermine la santé des récifs coralliens ou pour comprendre la résilience aux changements globaux et à l'environnement de différentes espèces de coraux ou de différents sites géographiques. De plus, la santé des coraux étant au premier plan de la recherche sur les fonctions du microbiote (Rosenberg et al, 2007), l'indice de santé développé dans ce projet permettra de réévaluer le rôle du microbiote dans un écosystème complexe tel que le récif corallien.

En conclusion, ce projet ouvrira la voie au développement d'une machine qui évalue la santé des coraux pour une meilleure surveillance et protection des récifs coralliens.

## Remerciements

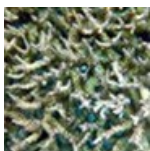
Nous remercions l'Académie 3 de l'Idex UCA Jedi pour financer ce projet, ainsi que la Fondation Tara Océan, l'équipage du R/V Tara, et les participants de l'expédition Tara Pacific (<https://doi.org/10.5281/zenodo.3777760>), particulièrement Serge Planes, Denis Allemand, et le consortium Tara Pacific. Nous remercions également Jean-Christophe GAY (URMIS, UniCA), Gede HENDRAWAN (UNUD, Udayana University - Indonésie), Rili DJOHANI (CTC, Sanur - Indonésie), Nyoman SUNARTA (UNUD, Udayana University - Indonésie), Laetitia HEDOUIN (CRIOBE, Mo'orea), qui nous permettront de développer les aspects mentionnés dans la discussion. De plus, nous remercions chaleureusement Aldine AMIEL (IRCAN, UNICA / Kahi Kai) pour le développement d'un volet Science et Société associé au projet, ainsi que l'ensemble des rangers de la Misool Foundation (Raja Ampat), Alex de Ketapang Dive Community (Manokwari), Claire et Mawi de Ikandive (Bali), pour leur aide et soutiens lors des missions sur le terrain.

## References

- Aeby GS, Williams GJ, Franklin EC, Kenyon J, Cox EF, Coles S, et al (2011) Patterns of Coral Disease across the Hawaiian Archipelago: Relating Disease to Environment. *PLoS ONE* 6(5): e20370. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020370>
- Ainsworth TD, Kramasky-Winter E, Loya Y, Hoegh-Guldberg O, Fine M (2007) Coral disease diagnostics: what's between a plague and a band? *Appl Environ Microbiol.* 73(3):981-92. <https://doi.org/10.1128/AEM.02172-06>.
- Barott KL, & Rohwer FL (2012) Unseen players shape benthic competition on coral reefs. *Trends in microbiology* 20 (12):621–628. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2012.08.004>
- Barott K, Smith J, Dinsdale E, Hatay M, Sandin S, Rohwer F (2009) Hyperspectral and Physiological Analyses of Coral-Algal Interactions. *PLoS ONE* 4(11): e8043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008043>
- Bindoff NL, Cheung WWL, Kairo JG, Aristegui J, Guinder VA, Hallberg R, Hilmi N, Jiao N, Karim MS, Levin L, O'Donoghue S, Purca Cuicapusa SR, Rinkevich B, Suga T, Tagliabue A, and Williamson P (2019) Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing World. Cambridge University Press:447-587. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.007>.
- Breslow L (1972). A Quantitative Approach to the World Health Organization Definition of Health: Physical, Mental and Social Well-being. *International Journal of Epidemiology*, 1(4): 347–355. <https://doi.org/10.1093/ije/1.4.347>
- Burns JHR, Weyenberg G, Mandel T, Ferreira SB, Gotshalk D, Kinoshita CK, ... Pelayo, R (2020) A Comparison of the Diagnostic Accuracy of in-situ and Digital Image-Based Assessments of Coral Health and Disease. *Frontiers in Marine Science* 7. <https://doi.org/doi:10.3389/fmars.2020.00304>
- Cetz-Navarro NP, Espinoza-Avalos J, Hernández-Arana HA, Carricart-Ganivet JP (2013) Biological Responses of the Coral *Montastraea annularis* to the Removal of Filamentous Turf Algae. *PLoS ONE* 8(1): e54810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054810>
- Chow MH, Tsang RHL, Lam E & Ang P (2016) Quantifying the degree of coral bleaching using digital photographic technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 479:60-68. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.003>.
- Cox EF (1986) The effects of a selective corallivore on growth rates and competition for space between two species of Hawaiian corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 101: 161-174. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90047-X](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90047-X)
- Douglas AE (2003) Coral bleaching--how and why?. *Marine pollution bulletin* 46(4): 385–392. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00037-7)
- Durden JM, Bett BJ, Schoening T, Morris KJ, Nattkemper TW, Ruhl HA (2016) Comparison of image annotation data generated by multiple investigators for benthic ecology. *Mar Ecol Prog Ser* 552:61-70. <https://doi.org/10.3354/meps11775>
- Ezzat L, Lamy T, Maher RL, et al. (2020) Parrotfish predation drives distinct microbial communities in reef-building corals. *anim microbiome* 2:5 <https://doi.org/10.1186/s42523-020-0024-0>

- Fitt WK, McFarland F, Warner ME, & Chilcoat GC (2000) Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. *Limnology and Oceanography*, 45:677-685  
<https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.3.0677>
- Flower J, Ortiz JC, Chollett I, Abdullah S, Castro-Sanguino C, Hock K, Lam V, Mumby PJ (2017) Interpreting coral reef monitoring data: A guide for improved management decisions. *Ecological Indicators*. 72:848–869. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.003>
- Fried LP, Cohen AA, Xue QL, Walston J, Bandeen-Roche K, & Varadhan R (2021) The physical frailty syndrome as a transition from homeostatic symphony to cacophony. *Nature Aging* 1(1):36–46. <https://doi.org/10.1038/s43587-020-00017-z>
- Fu, C, Liu R, Fan X, Chen P, Fu H, Yuan W, ... & Luo Z (2023). Rethinking general underwater object detection: Datasets, challenges, and solutions. *Neurocomputing*, 517: 243-256.
- GCRMN (n.d.) The Sixth Status of Corals of the World: 2020 Report. Retrieved July 29, 2022 from <https://gcrmn.net/2020-report/>
- Glynn PW (1993) Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs* 12:1–17 <https://doi.org/10.1007/BF00303779>
- González-Rivero M, Beijbom O, Rodríguez-Ramírez A, Bryant DEP, Ganase A, Gonzalez-Marrero Y,... Hoegh-Guldberg O (2020) Monitoring of Coral Reefs Using Artificial Intelligence: A Feasible and Cost-Effective Approach. *Remote Sensing* 12(3):489. <https://doi.org/10.3390/rs12030489>
- Hoegh-Guldberg O (1999) Climate change, coral bleaching, and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research* 50(8): 839. <https://doi.org/10.1071/mf99078>
- Hughes T, Barnes M, Bellwood D, et al. (2017) Coral reefs in the Anthropocene. *Nature* 546:82–90. <https://doi.org/10.1038/nature22901>
- Langenkämper D, Zurowietz M, Schoening T, & Nattkemper TW (2017) BIIGLE 2.0 - Browsing and Annotating Large Marine Image Collections. *Frontiers in Marine Science* 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00083>
- Leujak W, & Ormond RFG (2007) Comparative accuracy and efficiency of six coral community survey methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351(1-2):168–187. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.028>
- Lirman, D (2001) Competition between macroalgae and corals: effects of herbivore exclusion and increased algal biomass on coral survivorship and growth. *Coral Reefs* 19:392–399. <https://doi.org/10.1007/s003380000125>
- Littler MM, & Littler DS (2013). The Nature of Crustose Coralline Algae and Their Interactions on Reefs. *Research and Discoveries: The Revolution of Science through Scuba* 199- 212
- F. Lombard et al., Open science resources from the Tara Pacific expedition across coral reef and surface ocean ecosystems. *Sci Data* 10, 324 (2023).
- López-Otín C, & Kroemer G (2020). Hallmarks of Health. *Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.11.034>
- Mahmood A, Bennamoun M, An S, Soheli F, Boussaid F, Hovey R, Kendrick G, & Fisher RB (2016) Automatic annotation of coral reefs using deep learning. *IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers*. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2016.7761105>
- Manderson T, Li J, Dudek N, Meger D, and Dudek G (2017), Robotic Coral Reef Health Assessment Using Automated Image Analysis. *J. Field Robotics*, 34: 170-187. <https://doi.org/10.1002/rob.21698>
- McCook LJ (1999) Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 18: 357-367.
- McCook L, Jompa J, & Diaz-Pulido G (2001) Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms. *Coral Reefs* 19:400–417. <https://doi.org/10.1007/s003380000129>
- Moberg F, & Folke C (1999) Ecological goods and services of coral reef ecosystems, *Ecological Economics*, 29(2):215-233. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ecolec:v:29:y:1999:i:2:p:215-233>.
- Nugues MM, Smith GW, van Hooidonk RJ, Seabra MI, and Bak RPM (2004) Algal contact as a trigger for coral disease. *Ecology Letters* 7: 919-923. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00651.x>
- Page C, Field S, Pollock F, Lamb J, Shedrawi G, & Wilson S (2016) Assessing coral health and disease from digital photographs and in situ surveys. *Assessing coral health and disease from digital photographs and in situ surveys*. 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5743-z>.
- Palmer CV, Modi CK, Mydlarz LD (2009) Coral Fluorescent Proteins as Antioxidants. *PLoS ONE* 4(10): e7298. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007298>
- Palmer C, Mydlarz L, & Willis B (2008) Evidence of an inflammatory-like response in non-normally pigmented tissues of two scleractinian corals. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*. 275:2687-93. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0335>.
- Pateman V, (2009) Color correction for underwater photography, Graphic Communication Department, College of Liberal Arts, California polytechnic state University.
- Planes S, Allemand D, Agostini S, Banaigs B, Boissin E, et al. (2019) The Tara Pacific expedition—A pan-ecosystemic approach of the “-omics” complexity of coral reef holobionts across the Pacific Ocean. *PLOS Biology* 17(9): e3000483. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000483>
- Pratte ZA, Longo GO, Burns AS, et al. (2018) Contact with turf algae alters the coral microbiome: contact versus systemic impacts. *Coral Reefs* 37: 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1615-4>
- Raymundo LJ, Couch CS, Harvell CD, Raymundo J, Bruckner AW, Work TM et al. (2008) Coral disease Handbook: Guidelines for Assessment, Monitoring, and Management. Technical report, Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program
- E. Rosenberg, O. Koren, L. Reshef, R. Efrony, I. Zilber-Rosenberg, The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nat Rev Microbiol* 5, 355-362 (2007).
- Sammarco PW & Risk MJ (1990) Large-scale patterns in internal bioerosion of Porites: cross continental shelf trends on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*:145-156

- Scaps P, & Denis V (2008) Can organisms associated with live scleractinian corals be used as indicators of coral reef status? *Atoll Research Bulletin* 566. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.566.1>
- Scott PJB, & Risk MJ (1988) The effect of Lithophaga (Bivalvia: Mytilidae) boreholes on the strength of the coral *Porites lobata*. *Coral reefs* 7:145-151.
- Smith S, Harriot V (1998) Tube-building polychaete worms smother corals in the Solitary Islands Marine Park, northern NSW, Australia. *Coral Reefs* 17:342. <https://doi.org/10.1007/s003380050136>
- Swanson D, Bailey H, Schumacher B, Ferguson M, & Vargas-Ángel B (2018) Ecosystem Sciences Division Standard Operating Procedures: Data Collection for Rapid Ecological Assessment Benthic Surveys. NOAA Tech. Memo. NMFS-PIFSC-71:1-63. <https://doi.org/10.25923/39jh-8993>
- Rogers CS (1990) Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series*, 62:185-202.
- Rogers CS, & Miller J (2013) Coral Diseases Cause Reef Decline. *Science* 340(6140):1522–1522. <https://doi.org/10.1126/science.340.6140.1522-a>
- Rotjan R & Lewis S (2008) Impact of coral predators on tropical reefs. *Marine Ecology Progress Series* 367:73-91. <https://doi.org/10.3354/meps07531>.
- Vermeij M, Dailer M, & Smith C (2011) Crustose coralline algae can suppress macroalgal growth and recruitment on Hawaiian coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*. 422:1-7. <https://doi.org/10.3354/meps08964>.
- Ward S, Harrison P, & Hoegh-Guldberg O (2000) Coral bleaching reduces reproduction of scleractinian corals and increases susceptibility to future stress. *Proc. 9th Int. Coral Reef Symp.*2.
- Weiss A, & Martindale RC (2017) Crustose coralline algae increased framework and diversity on ancient coral reefs. *PLoS One* 12(8): e0181637.
- WHO (1948) Constitution of the World Health Organization. [http://www.who.int/governance/eb/who\\_constitution\\_en.pdf](http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_en.pdf)



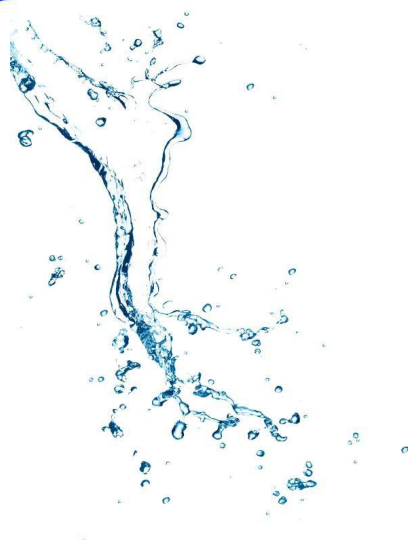
## POÈME À L'EAU DE MER

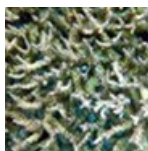
Sur la planète bleue  
Quand tu seras  
De l'autre côté de la serrure  
Avec ton crayon  
A la crête des mondes autres  
La tête dans les étoiles  
Mais avec les pieds bien rivés  
Sur terre : va.

Face à l'océan de vérité  
Depuis le rivage de ta pensée  
Et tes îlots de réflexion  
Trouve de temps en temps ton galet  
Trouve ton coquillage  
Et ramène-le-nous au grand jour :  
Pendant ce temps  
La mer ressasse sur le sable  
L'écume et le sel de tes recherches.

*Lou MILS*

*Poème original écrit en carte blanche  
Écrit et interprété par l'auteure à Nice le 27 septembre 2024 à  
l'occasion du Séminaire inaugural de l'initiative d'excellence à  
l'Académie N°3 qui a réuni une audience de chercheurs scientifiques  
spécialisés sur le thème de la Mer et les Océans.*





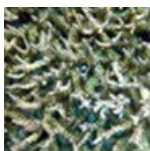
**Sophie Bonnet – Océanographe, Directrice de recherche à l'IRD, Institut Méditerranéen d'Océanologie (M.I.O. Marseille)**



**Consultable sur notre chaine Canal-U via le QR Code ci-dessous :**







**ANNEXE POUR LA LETTRE D'UNE POÉTESSE AUX CHERCHEURS  
&  
LA PUBLICATION DU POÈME À L'EAU DE MER**

**Accréditation auteure**

*Poète et exploratrice française.*

*Lou Nils est membre de la Société des Poètes Français. Cheffe de file du Nouveau Romantisme d'Action, elle a fondé la Poèmerie en 2020 qui fonctionne comme une unité de recherche poétique et maison d'auteure indépendante. S'inscrivant dans différents registres avec des formats complexes ou des lignes épurées, elle crée de nouvelles expressions poétiques et musicales. En 2023-2024 son premier format court rentre à l'Espace Créateur de la Comédie Française à Paris avec une collection évolutive de mini-parchemins manuscrits intitulé « La Pensée Magique ».*

*Depuis 2010, des projets concepts et des aventures modernes prennent forme sur sa route : ses principaux travaux tissent des passerelles entre Art, Sciences et Technologies. Elle utilise l'itinérance comme moteur à la créativité et part créer dans l'air du temps en France et dans le monde. Son travail est décrit par le journal Le Monde comme « Allier réalités et imaginaire, rendre possible l'impossible de manière 'sur-réaliste' ».*

*En mai 2025 Lou Nils vient d'être admise en tant que sociétaire définitive à la Société des Explorateurs Français.*



